2П

УДК 004.382

С.А. Поливцев
Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины,
г. Донецк, Украина
info@iai.donetsk.ua

Операции с полупериодами сигналов

В данной статье рассматривается метод анализа сигналов, альтернативный методам, основанным на быстром преобразовании Фурье. Определяются операции над полупериодами как составляющими объектами сложных сигналов. Предлагаются правила выделения элементарных полупериодов из сложных сигналов. Приводятся примеры операций и программы в системе MathCAD по разделению сложных сигналов на множества элементарных полупериодов. Предлагается правило оценки качества разделения сложного сигнала на элементарные полупериоды.

Введение

В работах [1-3] был предложен новый математический аппарат обработки аналоговых сигналов, который способен функционировать на микроконтроллерах с производительностью до 100 MIPS. Второй целью введения этого нового математического аппарата было решение задач сравнительного анализа сигналов с массивов сенсоров. Предлагалось производить разложение входных сигналов на составляющие гармоник – так называемые полупериоды, для определения которых не требовалось выполнения условия непрерывности на всем интервале существования входного сигнала. Для каждого полупериода определялись несколько параметров – длительность, размах по амплитуде, время существования в общем сигнале, вид базовой гармоники полупериода. Для более подробного рассмотрения работы метода по разложению на составляющие гармоники необходимо определить основные операции над полупериодами и их множествами. Основных операций над полупериодами сигналов всего две: вычитание и сложение. Эти операции проводятся только на множествах амплитуд полупериодов. С математической точки зрения амплитуды полупериодов – это целые числа (речь идет только о 16 бит АЦП) в диапазоне 0..65535 (– 32768 .. 32767), соответственно они подчиняются законам сложения и вычитания. С физической точки зрения, сложение или вычитание амплитуд порождает новую амплитуду. Сложение или вычитание нескольких последовательностей амплитуд порождает новый сигнал.

Реализация операций

Для лучшего изложения дальнейшие выкладки по операциям над сигналами проводятся на конкретных примерах. Пусть имеются два простых сигнала, сложение которых происходит по программе, показанной на рис. 1, и график результата сложения которых показан на рис. 2. Программы выполнены в среде MathCAD ver.11, тексты программ приводятся полностью с тем, чтобы можно было легко проверить их правильность.

Пусть этот сложный сигнал определяется как входной, реальный сигнал. Задачу разложения имеющегося сложного сигнала можно сформулировать следующим образом. Необходимо имеющийся сложный сигнал разделить на реальные полупериоды,

каждому реальному полупериоду сопоставить элементарные полупериоды, имеющие образы во множестве банков полупериодов (или вид базовой функции полупериода). Каждый из реальных полупериодов имеет свою привязку ко времени и амплитуде определения сложного сигнала.

```
x := | 2
     | for  i ∈ 0.. 999
     |    | x_i ← [AM1·cos[2·π·f1·(i·dt)] + AM2·cos[2·π·f2·(i·dt)]]
     |    | x
```

Рисунок 1 – Текст программы сложения двух простых сигналов

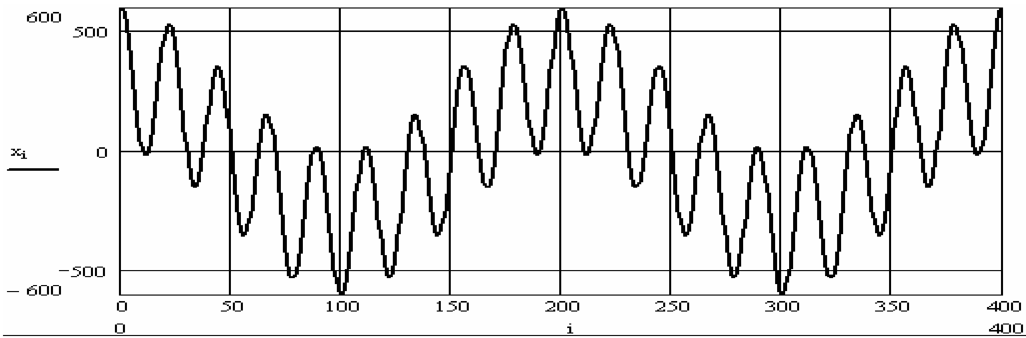


Рисунок 2 – График результата сложения двух простых сигналов

В [2] был предложен способ описания полупериода сигнала в виде пятерки:

$$x_i = \{a0_i\ , dA_i, t0_i, dm_i, f_i\},$$

где $a0_i = pr_1x_i$ – точка начала полупериода по шкале амплитуд;
$dA_i = pr_2x_i$ – длительность полупериода по шкале амплитуд;
$t0_i = pr_3x_i$ – абсолютное время начала полупериода на шкале времени;
$dm_i = pr_4x_i$ – длительность полупериода по шкале времени;
$f_i = pr_5x_i$ – вид функции полупериода.

Сложный сигнал на рис. 2. состоит из последовательностей нисходящих и восходящих полупериодов, причем строго соблюдается следование нисходящий => восходящий или восходящий => нисходящий полупериод. Каждый из реальных полупериодов на рис. 2 имеет свой размах амплитуды, точку начала по шкале длительности и шкале амплитуд.

Можно определить, что последовательность полупериодов может быть нисходящей, если каждый следующий нисходящий полупериод имеет размах амплитуды больше, чем каждый следующий восходящий полупериод. Сигнал на рис. 2. содержит 36 полупериодов, или $X = \{x_0, x_1, .., x_{35}\}$. Первым (рис. 2.) следует нисходящий x_0, затем восходящий x_1. В последовательности $X_{0,8} = \{x_0,..,x_8\}$ выполняются соотношения $(pr_2x_0 > pr_2x_1)$, .., $(pr_2x_6 > pr_2x_7)$, но $(pr_2x_8 = pr_2x_9)$ и, следовательно, на x_8 заканчивается нисходящая последовательность полупериодов. Последовательность полупериодов $X_{9,17} = \{x_9,..,x_{17}\}$ является восходящей.

Можно определить точку начала более низкочастотного сигнала y по времени – совпадающую со временем начала полупериода $pr_3y_0 = pr_3x_0$, точку начала по шкале амплитуд как средняя точка полупериода x_0. Соответственно точка конца более

низкочастотного сигнала по времени совпадает со временем конца полупериода x_8, точка конца по шкале амплитуд – средняя точка полупериода x_8. На этих точках строится нисходящий полупериод сигнала синусоидальной формы – текст программы представлен на рис. 3. Пусть эту работу выполняет препроцессор полупериодов *PH*. Т.е. все параметры множества полупериодов $X_{0,8}$ определены как $X_{0,8} = PH(x_0, x_1, .., x_{35})$, где *PH* – препроцессор полупериодов.

```
   AM4 := 30(        f3 := 1            dt := 0.00!
y := | 2
     | for  i ∈ 0.. 100
     |    | y_i ← [AM4·cos[2·π·f3·(i·dt)]]
     |    | y
```

Рисунок 3 – Текст программы построения полупериода

На рис. 4 сплошной линией представлен график построенного низкочастотного (НЧ) полупериода y, а пунктирной линией – график исходного сигнала.

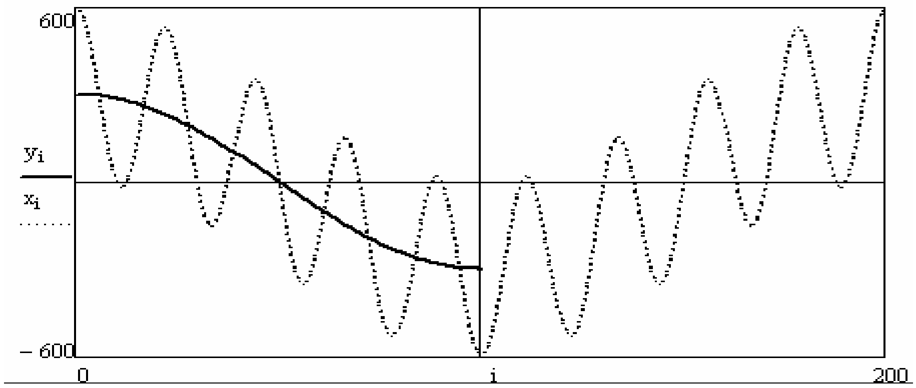


Рисунок 4 – Графики исходного сигнала и НЧ составляющей сигнала

Далее из данных исходного сигнала (в системе MathCAD это одномерный массив z_i с индексами $i = 0..100$) вычитаются полученные значения элементарного полупериода y_i, $i = 0..100$. Программа вычитания сигналов показана на рис. 5, а результат работы программы показан на рис. 6.

```
z := | 2
     | for  i ∈ 0.. 100
     |    | z_i ← (x_i − y_i)
     |    | z
```

Рисунок 5 – Программа вычитания сигналов

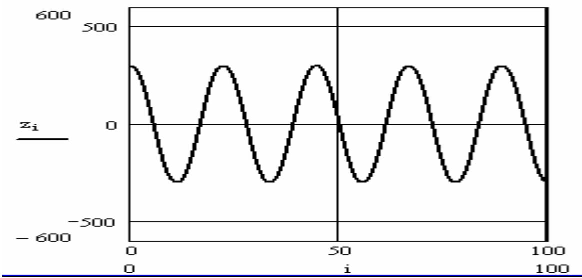


Рисунок 6 – График разности исходного сигнала и элементарного полупериода

При описании полупериодов [1], [2] было показано, что все множество элементарных полупериодов, представленных в цифровой форме, можно собрать в банк полупериодов, где множество амплитуд элементарного полупериода y_i содержится в трехмерной матрице вида:

$$y_i \in M\{f_i, dA_i, dm_i\}, \tag{1}$$

где f_i – вид функции полупериода;

dA_i – длительность полупериода по шкале амплитуд;

dm_i – длительность полупериода по шкале времени.

Тогда операцию вычитания из подмножества амплитуд исходного сигнала, представленного множеством амплитуд $x_i = \{a_0, a_1, .., a_j,..,a_{m-1}\}$, имеющего длительность по шкале амплитуд

$$dA(x_i) = | a_0 - a_{m-1} |, \tag{2}$$

имеющего длительность по шкале времени $dm(x_{i-1}) = m$, полупериода y_i из банка полупериодов, имеющего известную базовую функцию f, имеющего длительность по шкале амплитуд $dA(y_{i-1}) = dA(x_{i-1})$ и имеющего длительность по шкале времени $dm(y_i) = m$, можно записать в виде:

$$z_{fi} = \sum_{j=0}^{m-1}\left(x_{ij} - M\left(f, dA\left(x_{i-1}\right), dm\left(x_{i-1}\right), j\right)\right) \tag{3}$$

или

$$z_{fi} = \sum_{j=0}^{m-1}\left(x_{ij} - y_{ij}\right).$$

Операцию, описанную в (3), следует понимать так: множество разностных амплитуд z мощностью m по образцовой функции f на шаге преобразования i есть разница между элементами исходного массива предыдущего шага $i - 1 - x_{ij}$ и элементами банка полупериодов, где элементы банка полупериодов для заданной функции определены числом m и размахом амплитуды для x_{i-1}.

Численную оценку качества преобразования (3) можно определить как:

$$k(z_{fi}) = \sum_{j=0}^{m-1}\left|z_{fi}(j)\right|. \tag{4}$$

В результате операции (3) будут получены следующие компоненты: множество разностных амплитуд z_{fi}, элементарный полупериод y_{fi} и оценка качества k_{fi}. Операция (3) есть не что иное, как дискретная свертка сигнала x_{i-1} дискретной функцией f. Можно сказать, что множество z_{fi} – это результат фильтрации, f – функция фильтрации, k_{fi} – оценка качества фильтрации.

Если в банке полупериодов содержится несколько полупериодов с $dA(y_{i-1}) = dA(x_{i-1})$ и $dm(y_{i-1}) = m$, но с разными базовыми функциями фильтрации f, то (3) применяется столько раз, сколько имеется разных базовых функций. Соответственно и результатов будет столько, сколько имеется базовых функций.

Пусть множество базовых функций ограничено значением q. Тогда для исходного множества амплитуд x_i, образующего полупериод x_i, применение (3) и (4) порождает три новых множества – множество элементарных полупериодов:

$$Y = \left\{y_{0i}, \ldots y_{fi}, \ldots y_{qi}\right\}, \tag{5}$$

множество разностных амплитуд:

$$Z = \left\{z_{0i}, \ldots z_{fi}, \ldots z_{qi}\right\} \tag{6}$$

и множество оценок качества фильтрации:

$$K = \left\{ k_{0i}, \dots k_{fi}, \dots k_{qi} \right\}. \quad (7)$$

Применяя данные операции ко всем новым (разностным) последовательностям данных, можно получить множество элементарных полупериодов, каждый из которых имеет свою привязку как по временной, так и по амплитудной шкалам. Следует заметить, что число амплитуд в исходном, всех элементарных и всех разностных множествах, построенных на исходном, в точности совпадают.

Выводы

Предложенные операции над полупериодами сложных сигналов позволяют получить качественные и количественные описания сложных сигналов в виде наборов множеств элементарных сигналов. Можно говорить, что операции декомпозиции – это инструмент обработки входного сигнала, позволяющий разделить сложный входной сигнал на множества элементарных полупериодов.

Литература

1. Поливцев С.А. Многопроцессорная система реализации бинаурального слуха с массивом микрофонов / Поливцев С.А. // Искусственный интеллект. – 2009. – № 1. – С. 293-299.
2. Поливцев С.А. Метод микроанализа сигналов / Поливцев С.А. // Искусственный интеллект. – 2009. – № 2. – С. 130-135.
3. Поливцев С.А. Система бинаурального слуха робота / С.А. Поливцев, Е.С. Цыбульник // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 317-321.
4. Патент Украины № 79665. Синфазная система шумоподавления. Выдан 4 июня 2009 г. / Поливцев С.А., Шевченко А.И.

С.О. Полівцев
Операції з напівперіодами сигналів
У даній статті розглядається метод аналізу сигналів, альтернативний методам, заснованим на швидкому перетворенні Фур'є. Визначаються операції над напівперіодами як складовими об'єктами складних сигналів. Пропонуються правила виділення елементарних напівперіодів із складних сигналів. Наводяться приклади операцій і програми в системі MATHCAD по розділенню складних сигналів на безліч елементарних напівперіодів. Пропонується правило оцінки якості розділення складного сигналу на елементарні напівперіоди.

S.A. Polivtsev
Operations with half-cycles of signals
In given article the method of the analysis of signals alternative to the methods based on the fast is considered Furie is transformed. Operations over half-cycles as making objects of difficult signals are defined. Rules of allocation of elementary half-cycles from difficult signals are offered. Examples of operations and the program in system MathCAD on division of difficult signals into sets of elementary half-cycles are resulted. The rule of an estimation of quality of division of a difficult signal on elementary half-cycles Is offered.

Статья поступила в редакцию 26.01.2010.